

DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.12.026

张若愚, 葛宜元, 陈栋, 等. 基于机器视觉的白籽南瓜种子几何特征识别方法[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(12): 175-180

Zhang Ruoyu, Ge Yiyuan, Chen Dong, et al. Machine vision-based geometry characteristics recognition method for white pumpkin seed [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(12): 175-180

基于机器视觉的白籽南瓜种子几何特征识别方法*

张若愚¹, 葛宜元¹, 陈栋^{3,4}, 陈天恩^{3,4}, 姜凯^{1,2,3}

(1. 佳木斯大学机械工程学院, 黑龙江佳木斯, 154007; 2. 北京市农林科学院智能装备技术研究中心, 北京市, 100097; 3. 农芯(南京)智慧农业研究院有限公司, 南京市, 211800; 4. 北京市农林科学院信息技术研究中心, 北京市, 100097)

摘要:针对瓜类砧木定向播种装备缺乏, 人工播种效率低、育苗质量差等问题, 提出基于机器视觉的白籽南瓜种子几何特征的识别方法。选取京欣砧 2 号南瓜种子为研究对象, 利用工业相机采集种子的原始图像, 通过灰度化、均值滤波、动态阈值处理得到种子的灰度值、种子轮廓等形态特征, 根据轮廓区域的方向和纵横比拟合最佳椭圆, 并获得种子几何中心坐标和长短轴数据, 以沿种子长轴方向的轮廓端点与几何中心点的最大距离来判断芽点方向, 再以几何中心点为基准运用三角函数计算种子芽点所在位置, 并开展试验验证。试验结果表明, 利用该方法可以有效地判断出芽点位置和角度信息, 芽点识别准确率为 98.85%, 芽点角度平均偏差为 1.53°, 25 粒种子识别平均耗时为 0.092 s。

关键词:机器视觉; 白籽南瓜种子; 定向播种; 轮廓提取; 芽点识别

中图分类号:S223.2+3 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5553(2024)12-0175-06

Machine vision-based geometry characteristics recognition method for white pumpkin seed

Zhang Ruoyu¹, Ge Yiyuan¹, Chen Dong^{3,4}, Chen Tianen^{3,4}, Jiang Kai^{1,2,3}

(1. College of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi, 154007, China; 2. Intelligent Equipment Technology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing, 100097, China; 3. Nongxin(Nanjing) Smart Agriculture Research Institute, Nanjing, 211800, China; 4. Information Technology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing, 100097, China)

Abstract: In response to the lack of equipment for targeted sowing of rootstocks for melons, as well as issues such as low efficiency in manual sowing and poor seedling quality, a method based on machine vision for identifying the geometry characteristics of white-seeded pumpkin seeds is proposed. Firstly, Jingxin No. 2 rootstocks pumpkin seeds are selected as the research object, and industrial cameras are used to capture the original images of the seeds. The grayscale value, profile and morphological features of the seeds are obtained through grayscale transformation, mean filtering, and dynamic threshold processing. The best ellipse is fitted based on the direction and aspect ratio of the contour area, and the geometric center coordinates and long and short axis data of the seeds are obtained. The direction of the bud spots is determined by the maximum distance between the contour endpoints along the long axis and the geometric center point. Then, using trigonometric functions with the geometric center point as the reference, calculate the location of the bud spots, followed by experimental verification. The results of the experiment show that this method can effectively identify the position and angle information of the germination point, with an identification accuracy of 98.85%, an average angular deviation of 1.53°, and an average recognition time of 0.092 seconds for 25 seeds.

Keywords: machine vision; white-seeded pumpkin seeds; directional seeding; contour extraction; bud point identification

收稿日期: 2024 年 4 月 27 日 修回日期: 2024 年 5 月 16 日

* 基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32171898); 国家西甜瓜产业技术体系专项资金项目(CARS-25-07); 中国烟草总公司贵州省公司科技项目(中烟黔科[2024]1 号 2024XM19); 北京市农林科学院 2024 年度科研创新平台建设(PT2024-44)

第一作者: 张若愚, 男, 1998 年生, 太原人, 硕士研究生; 研究方向为设施育苗装备。E-mail: 295821531@qq.com

通讯作者: 姜凯, 男, 1982 年生, 黑龙江勃利人, 博士, 正高级工程师; 研究方向为农业机器人与智能农业装备。E-mail: jiangk@nrcita.org.cn

0 引言

据报道,我国蔬菜种植面积为 20 439 km²,年需苗量 6 800 亿株^[1]。我国每年嫁接苗需求约 500 亿株,种苗生产供不应求、缺口很大^[2]。因连年种植引起的连作障碍问题日趋严重,导致了市场对瓜类蔬菜嫁接苗的需求不断增长^[3]。嫁接可以有效克服土传病害,增强作物抗性提高产量^[4]。穴盘播种是嫁接育苗的关键环节,国内外对穴盘播种机的技术研究较早,实现了对形态规则或丸粒化种子的精量播种^[5]。瓜类嫁接常用的砧木种子(白籽南瓜、瓠瓜)需要定向播种,以保证子叶朝向基本一致,播种后砧木幼苗一致性好,有利于实现自动化嫁接^[6,7]。然后,现有穴盘播种机对瓜类嫁接用砧木种子(也称大粒种子)并不适用,存在漏播率高、播种精度低等问题,大多育苗公司仍采用人工播种方式^[8,9]。人工虽能够完成定向播种,但作业质量完全依靠经验,作业效率和精度较低^[10]。因此,急需开发嫁接用砧木种子的定向播种装置代替人工播种,利用机器视觉技术识别种子几何特征是实现精准定向播种的必要前提。

目前,国内外学者针对大粒种子播种的相关研究较少,主要采用机械调向和视觉识别方法进行定向播种。2001 年,日本开发出 SF70 型大粒种子定向播种机^[11],利用圆形种杯往复移动使种子沿长轴方向实现定向排列,未识别种子芽点位置和方向,播种成功率 95%,播种偏差±30°,播种效率 5 000 粒/h。韩国开发出 SD-1212 型针式播种机^[12],采用 V 型槽结构使黑籽南瓜种子沿长轴方向定位,播种时种子从 V 型槽的一侧自由滑落进入穴孔内,定向播种精度较低。杨艳丽等^[13]基于直线振动器开发了沿种子长轴的定向送种机构,播种效率 6 000 粒/h,成功率 98.89%,未考虑种子芽点位置和方向识别问题。上述研究实现了种子长轴方向定向播种,无法准确识别芽点位置和方向,导致种子播种后的位置偏差较大,不利于后续嫁接和移栽操作。

近年机器视觉技术发展迅速,被大量应用到种子特征识别研究。王侨^[14]利用机器视觉技术对玉米籽粒的胚芽方向进行判断,基于分析了种粒图像的 RGB 颜色特征,实现了种粒各颜色区域的分割提取,依据种粒的形态特征以及周长、面积等 20 个检测指标,完成了胚芽方向的判断。陈同^[15]利用白籽南瓜种子的外观特征,根据种子边界两端的矩形面积大小判断芽点方向,定向播种成功率为 91.6%,94.1%的种子偏转角度小于 15°。罗昌志^[16]利用灰度共生矩阵对蒜种纹理特征进行提取,计算图像蒜种区域的朝向,实际夹取

成功率为 93.16%,相对误差为 0.57%,对三个大蒜品种夹取成功率均大于 90%。李跃华等^[17]提出一种 Ramer 方法对种子轮廓进行拟合分割,将君迁子种子尖端检测转换为曲率半径检测问题,对 5 种不同品种君迁子的 250 粒种子的识别准确率达 83.6%。Bai 等^[18]基于机器视觉开发了甜玉米插苗补充播种装置,提出了一种基于投票机制的甜玉米种子检测方法,检测准确率约为 99%,复播后平均空穴率从 9.61%下降到 0.38%。Yan 等^[19]提出了基于 YOLOv5x 的穴盘内番茄种子信息感知方法,平均检测准确率为 92.84%,平均检测时间为 13.475 s,在穴盘上重新播种的成功率为 91.7%。马旭等^[20]利用图像灰度化、自适应阈值处理和形态学运算等方法对水稻育秧盘的裂缝缺陷进行检测,正确识别率可达 94.38%。

综上所述,视觉识别系统往往受限于复杂背景下的种子识别精度,尤其在种子形态、颜色和纹理等特征相似的情况下,识别效果易受到干扰。因此,本文旨在研究一种基于机器视觉的白籽南瓜种子芽点方向识别方法,实现对种子外部特征实时获取和识别,精准确定芽点位置和方向,提高识别准确性和效率,为白籽南瓜种子定向播种装置的研制奠定基础。

1 图像处理方法

图像处理流程如图 1 所示。基于 HALCON 机器视觉软件开发设计白籽南瓜种子芽点识别方法。

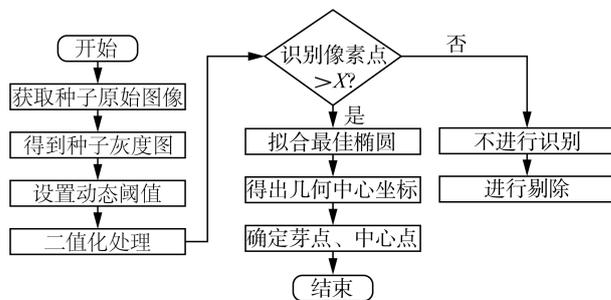


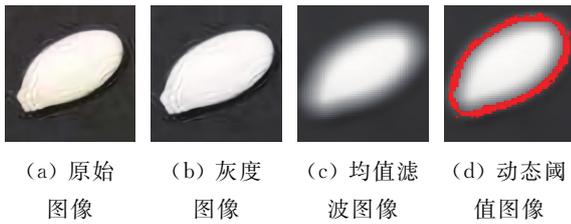
图 1 图像处理流程

Fig. 1 Image processing flow

1) 图像预处理:首先利用相机进行种子图像的采集,将彩色图像转换为灰度图像,以简化后续图像处理。随后,通过均值滤波平滑图像,减少噪声。采用动态阈值处理缓解光照对灰度的影响,有效分离种子和背景,从而计算种子与背景之间的灰度差异。由于种子为白色、背景是黑色,经多次调试在灰度差为 30 条件下可以达到良好的分离效果。所得彩色图像、灰度图像、均值滤波图像和动态阈值后的图像,如图 2 所示。

2) 灰度直方图和填充区域:利用种子图像的灰度图得到灰度直方图,对种子轮廓内部区域进行填充操作。为去除噪声和非目标物体,根据预设值(如种子的面积、长短

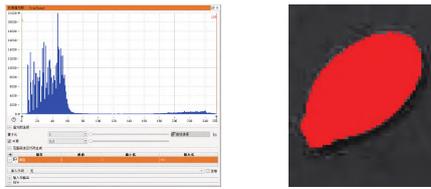
轴)可排除小于特定面积的对象(如噪声或非目标物体),筛选出符合预设条件的种子,如图 3 所示。



(a) 原始图像 (b) 灰度图像 (c) 均值滤波图像 (d) 动态阈值图像

图 2 图像预处理

Fig. 2 Image preprocessing



(a) 灰度直方图 (b) 种子填充图

图 3 灰度直方图和种子填充图

Fig. 3 Grayscale histograms and seed-filled plots

3) 轮廓拟合与软件界面创建:首先,利用第 2 步得到种子轮廓,可以确定出最佳拟合的椭圆,确保能够准确代表种子的形态。随后找到椭圆中心点,即为种子的几何中心。最后得到椭圆的长短轴数据,用于后续种子芽点位置和方向的计算。如图 4(a)所示,红色曲线为种子轮廓边界,绿色图形区域为拟合的最佳椭圆。根据上述图像处理过程,借助 Visual Studio 软件编写程序框架并设置软件界面,如图 4(b)所示。



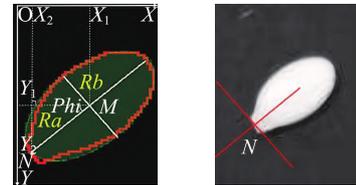
(a) 种子边界与拟合椭圆 (b) 软件界面

图 4 轮廓拟合和软件界面

Fig. 4 Contour fitting and software interface

4) 芽点计算原理:运用此方法的前提是在坐标系中已知种子中心点的位置,求出芽点的推导过程。芽点即种子的发芽位置,种子方向是指种子长轴沿芽点方向与水平或竖直方向之间的夹角。如图 5(a)中,种子长轴的一半为 R_a ,短轴的一半为 R_b ,中心点 M 的坐标为 (X_1, Y_1) ,需要求出芽点 N 的坐标 (X_2, Y_2) ,种子长轴与 X 轴的夹角为 Phi 。首先,通过前文提到的图像处理和椭圆拟合步骤,已获得种子区域内的精确几何中心 M 的坐标。其次,利用长短轴可以得到长轴与 X 轴的夹角信息。基于这 2 项信息,运用三角函数原理计算芽点 N 的坐标。通过从区域中心 M 出发,沿着 X 轴夹角的方向,用正弦函数计算出芽点 N 相

对于中心点 M 的垂直距离,再结合中心点 M 的到 X 轴的距离,可以得出芽点 N 在 Y 轴方向上的坐标 Y_2 。类似地,用余弦函数计算出芽点 N 相对于中心点 M 的水平距离,用中心点 M 到 Y 轴的距离减去此距离,可以得到芽点 N 在 X 轴方向上的坐标 X_2 ,从而获得种子芽点 N 坐标 (X_2, Y_2) ,识别结果如图 5(b)所示。



(a) 芽点计算 (b) 识别结果

图 5 芽点计算方法与结果

Fig. 5 Bud point calculation method and results

2 试验装置及方法

2.1 试验装置

图像采集装置包括光源、工业相机、笔记本电脑和黑色背景板等,如图 6 所示。相机型号为 MV-CS200-10GC,相机与背景板相对安装高度为 25 cm,采集原始图像大小为 5 472 像素 \times 3 648 像素,图像为 RGB-32 位格式。白籽南瓜种子品种为京欣砧 2 号,将种子放置于黑色背景板上。经 Visual Studio 软件转换后得到 8 位灰度图像,利用本文的图像处理对白籽南瓜种子芽点方向进行判别,种子的长短轴能够提供种子形态和大小的关键信息,而芽点角度可为定向播种提供依据。



图 6 图像采集装置

Fig. 6 Image acquisition device

1. 计算机 2. 工业相机 3. 光源 4. 白籽南瓜种子

2.2 试验内容

试验一:随机选取白籽南瓜种子 25 粒进行基础试验,目的是确定芽点方向识别准确率。

试验二:选取 4 组各 25 粒白籽南瓜种子验证试验一所确定的视觉方案是否有效。试验过程为实时识别,首先完成相机标定,测量种子长短轴、面积和芽点角度等信息,以芽点朝向右向下 45° 为基准,角度方向顺时针为正逆时针为负。为验证视觉测试精度,利用游标卡尺测量种子的长短轴作为实际值进行比较。

试验三:在试验二基础上,为进一步验证该方法对种子芽点角度计算的准确性。在 Halcon 软件中,首

先,根据提取到的种子轮廓确定几何中心点,然后,手动标出芽点位置,以二者连线与基准线的夹角作为实际值,并与芽点角度的实时测试值进行对比。

3 试验结果及分析

3.1 芽点方向识别准确率

芽点方向识别准确率效果如图 7 所示。图中种子按照从上至下、从左至右进行排序标号。由图 7 可知,25 粒种子的芽点位置均被识别出来。试验一处理结果如表 1 所示。



图 7 芽点方向识别准确率

Fig. 7 Accuracy of bud point direction recognition

表 1 试验一处理结果

Tab. 1 Treatment results of test 1

序号	阈值		种子几何中心坐标/像素		种子面积/像素	图中芽点方向	识别芽点方向
	小值	大值	y	x			
1	100	254	167	244	1 129	下	下
2	100	254	233	408	1 250	右	右
3	100	241	261	130	1 143	上	上
4	101	253	275	236	1 045	下	下
5	100	236	293	76	1 269	上	上
6	100	254	311	275	1 215	上	上
7	104	250	317	412	1 055	下	下
8	100	252	341	216	915	左	左
9	100	250	347	504	1 073	上	上
10	102	253	360	339	1 065	下	下
11	100	238	370	98	1 250	左	左
12	100	239	406	473	1 071	右	右
13	101	253	434	196	988	上	上
14	100	253	440	338	1 228	下	下
15	100	248	508	175	1 373	下	下
16	100	230	502	65	1 043	下	下
17	101	234	510	514	1 205	右	右
18	100	255	535	329	1 168	上	上
19	100	252	543	274	1 069	下	下
20	100	255	549	419	1 170	下	下
21	101	231	570	108	1 258	左	左
22	100	252	621	319	1 075	下	下
23	103	253	622	269	1 189	右	右
24	100	229	656	218	1 243	上	上
25	100	216	698	169	1 130	下	下
平均值	100.52	245.4	/	/	1 144.76	/	/

由表 1 可知,25 粒白籽南瓜种子的图中芽点方向与识别芽点方向完全一致,因此,芽点方向的识别准确

率为 100%,最大和最小灰度阈值平均值分别为 245.4、100.52,种子面积的平均值为 1 144.76。说明该方法可以有效计算芽点位置,且面积平均值可为后续试验提供分级依据。

3.2 验证试验

规定种子长短轴和种子面积的阈值范围进行提前分级,处理结果如图 8 所示。4 组测试结果如表 2 所示。

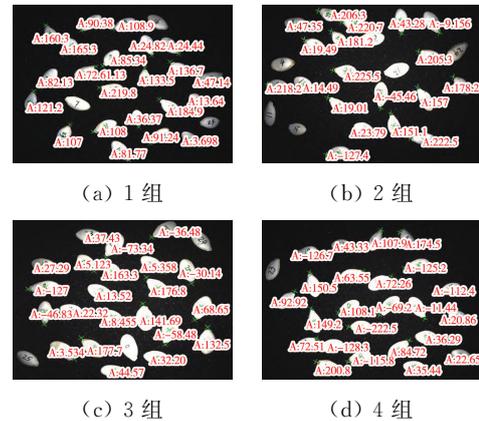


图 8 试验二结果

Fig. 8 Results of test 2

表 2 试验二处理结果

Tab. 2 Treatment results of test 2

序号	种子实际	种子测试	种子实际	种子测试
	长轴	长轴	短轴	短轴
1	15.78	15.46	9.65	9.34
2	14.70	13.29	8.88	9.12
3	14.69	14.53	9.65	9.60
4	14.07	13.95	9.10	9.27
5	16.68	16.82	9.74	10.32
6	17.14	16.98	10.10	10.91
7	16.99	16.99	9.80	10.41
8	16.32	16.77	9.96	10.64
9	14.91	15.25	8.80	9.12
10	15.08	14.92	8.85	9.58
11	16.79	17.40	9.31	10.19
12	16.53	17.11	10.12	10.67
13	14.54	15.20	9.81	10.36
14	16.93	16.90	9.96	10.18
15	14.91	15.12	8.62	9.82
16	15.11	15.40	10.41	11.08
17	16.66	16.99	10.66	11.07
18	14.77	14.78	9.07	10.18
19	17.34	17.32	10.12	10.79
20	17.31	17.70	10.53	11.06
21	15.93	15.71	9.07	9.75
22	15.79	16.07	10.38	11.03
23	17.01	17.34	9.15	10.69
24	17.65	17.60	9.53	10.03
25	17.21	/	9.02	/
平均值	16.03	16.07	9.61	10.21
标准差	±1.07	±1.23	±0.58	±0.63

从图 8 和表 2 中的结果可以得出,动态阈值差选取 30,可以有效地识别出白籽南瓜种子芽点所在的方向。有一些种子未被识别,原因可能是光照强度不足,在预设图像阈值附近的一些种子,均值滤波后种子与背景的灰度差小于 30,导致相机无法抓取。而处于图像中心的种子未被抓取,是因为种子的长轴和短轴过长或过短,在图像识别过程中被自动过滤掉,所以也未被识别。

种子长轴和短轴的实际值与测试值分别为 $16.03\text{ mm} \pm 1.07\text{ mm}$ 、 $16.07\text{ mm} \pm 1.23\text{ mm}$ 和 $9.61\text{ mm} \pm 0.58\text{ mm}$ 、 $10.21\text{ mm} \pm 0.63\text{ mm}$,长短轴的测量误差分别为 0.04 mm 、 0.60 mm 。由于相机垂直于背景拍摄会产生轻微的图像畸变,在图像中心的种子测量误差较小,远离图像中心的种子测量误差较大。另外,种子长轴的测量误差较小,原因是种子的中心部位略微凸起,相机拍摄二维图像时会略微扩大种子宽度。

芽点识别准确率如表 3 所示。4 组试验中芽点识别准确率的平均值为 98.85%,其中,识别失败数仅为 1 个,是由于该种子形态不规则导致轮廓拟合后芽点识别方向与实际相反,表明本文提出的识别方法可靠性较高。另外,未被识别数之和为 13 个,经过核验这些种子的外形尺寸均大于或小于系统长短轴预设值,也体现了该方法的分级准确性。25 粒白籽南瓜种子芽点识别平均耗时仅为 0.092 s,识别速度能够满足定向播种作业要求。

表 3 芽点识别准确率
Tab. 3 Accuracy of bud point recognition

序号	种子总数/个	识别成功数/个	识别失败数/个	未被识别数/个	识别准确率/%	识别时间/s
1	25	22	0	3	100	0.098
2	25	18	1	6	95	0.117
3	25	22	0	3	100	0.080
4	25	24	0	1	100	0.072
平均值	25	21.5	0.25	3.25	98.85	0.092

3.3 芽点角度验证

选取试验二中的第 4 组图像验证芽点角度识别准确性,测试结果如表 4 所示。由表 4 可知,芽点角度最大偏差为 -4.75° ,最小偏差为 0.06° ,平均偏差为 1.53° ,数据结果稳定、测试准确,表明该方法可以准确测量芽点角度。

另外,在实时检测中发现,种子的芽点位置有小部分出现略微向外或向内偏移。由于种子形态不规则,拟合椭圆包含种子轮廓的最多像素,导致计算出的芽点会略微偏离实际芽点位置,但不影响芽点角度的计算结果。

表 4 芽点角度验证
Tab. 4 Verification of bud point angle

序号	测试芽点角度/ $^\circ$	实际芽点角度/ $^\circ$	差值/ $^\circ$
1	107.9	105.15	-2.75
2	174.2	169.45	-4.75
3	43.35	44.28	0.93
4	-126.6	-127.35	-0.75
5	-125.2	-127.40	-2.20
6	63.64	62.64	-1.00
7	150.5	149.89	-0.61
8	72.3	70.22	-2.08
9	-112.4	-110.71	1.69
10	92.85	94.53	1.68
11	-89.13	-87.10	2.03
12	-11.41	-13.44	-2.03
13	-108	-108.46	-0.46
14	149.2	151.21	2.01
15	20.95	20.76	-0.19
16	222.4	223.80	1.40
17	36.28	37.84	1.59
18	72.42	74.24	1.82
19	-128.3	-129.61	-1.31
20	84.69	83.15	-1.54
21	22.96	20.97	-1.99
22	-115.7	-116.54	-0.84
23	200.8	199.68	-1.12
24	35.45	35.51	0.06
25	/	/	/

3.4 讨论

陈同^[15]提出根据种子边界相同矩形像素宽度大小来判断芽点的方法,测试的种子摆放角度偏差较小,并需要通过 5 个相机获取单粒种子图像。当矩形框宽度为 10 个像素时,芽点方向识别准确率为 100%,但种子倾斜角度过大判断误差增加。另外,利用种子朝前或朝后的芽点方向,为调向排种机构的调向板正反转提供依据,种子通过导向管沿长轴方向滑落进入穴孔,其定向效果不稳定,种子调向过程未利用芽点角度和种子重心位置等信息。

本文提出的视觉算法能够实时识别多粒种子的中心坐标、芽点位置和角度等几何特征,该系统仅需 1 个相机,对任意的种子朝向场景均适用,且系统受光照条件的影响较小,识别平均耗时仅 0.092 s,芽点方向识别准确率为 98.85%,芽点角度识别平均偏差为 $\pm 1.53^\circ$,各项指标均优于文献[15]。若将芽点方向的识别信息用于吸种执行机构进行精准调向作业,使被吸附的多粒种子芽点方向一致并直接放置于穴孔中心,有利于提高定向播种装置的精准性和效率。

4 结论

1) 提出一种基于机器视觉的白籽南瓜种子几何特征识别方法,将图像处理算法和三角函数相结合,计算过程简单且准确率高,研究结果表明,基于形态学的几何特征可以识别出白籽南瓜种子芽点角度,同时实现种子分级筛选,识别效果好且稳定。

2) 通过对4组共100粒不同大小的白籽南瓜种子进行芽点识别测试,识别准确率达到98.85%,芽点角度平均偏差为 $\pm 1.53^\circ$,且识别平均耗时仅0.092 s,可达到实时快速识别的技术要求。该视觉方案和识别方法可为定向播种装置执行调向作业提供精准信息。

参 考 文 献

- [1] 左绪金. 我国设施蔬菜产业发展现状及其未来发展路径探析[J]. 现代农业研究, 2019(5): 47-48.
- [2] 刘明池, 季延海, 武占会, 等. 我国蔬菜育苗产业现状与发展趋势[J]. 中国蔬菜, 2018(11): 1-7.
- [3] Shan Chen, Kai Jiang, Wengang Zheng, et al. Adaptive precision cutting method for rootstock grafting of melons: Modeling, analysis and validation [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 218, 108655.
- [4] 姜凯, 张骞, 陈立平, 等. 砧木上苗定位机构吸附块仿真设计与性能试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(18): 73-80. Jiang Kai, Zhang Qian, Chen Liping, et al. Simulation design and performance experiment of adsorption block in feeding and positioning mechanism for rootstock [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(18): 73-80.
- [5] 郭文骐, 张文毅, 祁兵, 等. 气力式高速精量排种器研究现状及展望[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(3): 31-37. Guo Wenqi, Zhang Wenyi, Qi Bing, et al. Research status and prospects of pneumatic high-speed precision seeder [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(3): 31-37.
- [6] 崔永杰, 王明辉. 农业领域自动定向技术研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2023, 54(4): 1-20. Cui Yongjie, Wang Minghui. Research progress analysis of auto-orientation technologies in agriculture [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(4): 1-20.
- [7] 姜凯, 陈立平, 张骞, 等. 蔬菜嫁接机器人柔性夹持搬运机构设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(S2): 63-71. Jiang Kai, Chen Liping, Zhang Qian, et al. Design and experiment on flexible clamping and conveying mechanism of vegetable grafting robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(S2), 63-71.
- [8] 段晓凡, 赖庆辉, 鲁劲柏. 我国穴盘育苗播种机械的发展现状[J]. 现代农业, 2016(7): 94-96.
- [9] 杨洪辉, 顾春山, 张顺. 我国蔬菜育苗现状及发展趋势探讨[J]. 南方农业, 2019, 13(26): 19, 22.
- [10] 陈菲, 张娜, 窦娜. 蔬菜穴盘工厂化育苗技术应用及发展[J]. 现代农业, 2021(2): 61-62.
- [11] Koba Y K, Fujii M, Yamada H, et al. Development of aligning seeder for large and elliptical seeds (Part 1) [J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2005, 67(5): 109-116.
- [12] 陈翊栋. 温室园艺精密播种机的类型与分析[J]. 农业机械, 2007(2): 42-43.
- [13] 杨艳丽, 辜松, 李恺, 等. 大粒种子定向精量播种装置参数优化试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 15-22. Yang Yanli, Gu Song, Li Kai, et al. Parameter optimization of directing precision seeder for large cucurbitaceous seeds [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(13): 15-22.
- [14] 王侨. 玉米种子的图像精选定向定位方法及装置研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017. Wang Qiao. Research on method and machine of selection and directional positioning of corn seed [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [15] 陈同. 大粒种子定向定位精量播种装置关键技术的研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015. Chen Tong. Key technologies of directing and positioning precision seeding device for large cucurbitaceous seeds [D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2015.
- [16] 罗昌志. 基于机器视觉的蒜种识别夹取试验台的设计与试验[D]. 淄博: 山东理工大学, 2023.
- [17] 李跃华, 冯启高, 候志松, 等. 基于机器视觉的君迁子种子尖端特征识别方法研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(10): 210-212. Li Yuehua, Feng Qigao, Hou Zhisong, et al. Identification method of diospyros lotus seeds tip characteristics based on machine vision [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(10): 210-212.
- [18] Bai J, Hao F, Cheng G, et al. Machine vision-based supplemental seeding device for plug seedling of sweet corn [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 106345.
- [19] Yan Z, Zhao Y, Luo W, et al. Machine vision-based tomato plug tray missed seeding detection and empty cell replanting [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2023, 107800.
- [20] 马旭, 袁志成, 王宇唯, 等. 基于机器视觉的育秧盘裂缝缺陷检测方法研究[J]. 现代农业装备, 2019, 40(1): 25-31. Ma Xu, Yuan Zhicheng, Wang Yuwei, et al. Research on crack detection method of seedling tray based on machine vision [J]. Modern Agricultural Equipment, 2019, 40(1): 25-31.